第 21 講　光と屈折

1

図１のように，水深 h のところに光源Ｓがある。Ｓから出て点Ｐに入射した光の一部は，屈折して空気中へ進み観測者の目に入る。点Ｐにおける入射角を θ_1，屈折角を θ_2，空気に対する水の屈折率を n として，以下の問に答えよ。

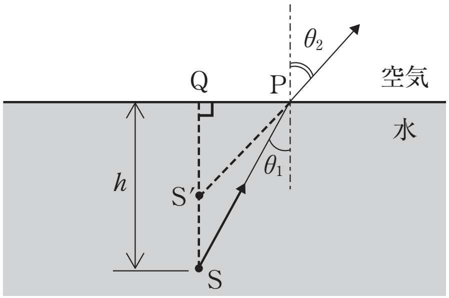


図１

(1)　$\sin\theta_2$ を n と θ_1 で表せ。

(2)　光源Ｓのほぼ真上にいる観測者から見ると，光源Ｓは図中のＳ′にあるように浮き上がって見える。Ｓを通る鉛直線が水面と交わる点をＱとし，見かけの深さ QS′ を n, h で表せ。ただし，角 θ が小さいとき，$\sin\theta \fallingdotseq \theta \fallingdotseq \tan\theta$ の関係が成り立つことを用いよ。

光を通さない，ある大きさ以上の薄い円板を水面に浮かべることで，空気中のどこからも光源Ｓが見えないようにできる。

(3)　次の文は光源Ｓを見えなくするのに必要な円板の半径の最小値について書かれたものである。文中の［　　］に入れるのに最も適切な語句，数式を書きなさい。

屈折率の大きい媒質中を進んだ光が屈折率の小さい媒質へ入射する場合，入射角がある角度 θ_C より大きくなると，入射光はすべて境界面で反射する。この角 θ_C は，屈折角が 90° になる入射角のことであり，［　ア　］という。また，入射角が θ_C 以上になると光はすべて反射されることから，この現象は［　イ　］と呼ばれる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

図２のように，半径 r の円板をその中心が点Ｑと一致するように水面に置き，その円板のふちの一点をＲとする。光源ＳからＲへの入射角が［ア］θ_C であったとすると，屈折の法則より $\sin\theta_C$ は n を用いて，

$$\sin\theta_C = \boxed{\text{ウ}} \quad \cdots\cdots①$$

と表すことができる。一方，三角比より，

$$\sin\theta_C = \frac{RQ}{SR} \quad \cdots\cdots②$$

であり，直角三角形SRQにおいて，線分SRの長さは三平方の定理より h，r を用いて表すと SR＝［エ］となる。よって，式①および②より，円板の半径 r の最小値は r＝［オ］と求められる。

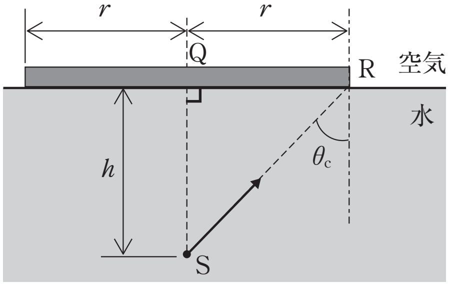


図２

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

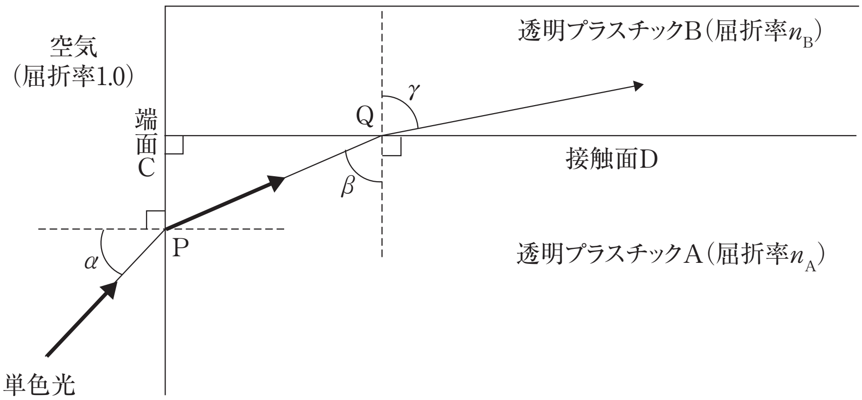
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　次の文中の空欄①〜⑧を数式や用語で埋め，解答欄に記入しなさい。ただし，①には（　　）内の(ア)〜(ウ)のうち正しいものを1つ選び記入し，⑧には（　　）内の(ア)，(イ)のうち正しいものを1つ選び，記入しなさい。

　光ファイバーのしくみを理解するため，図に示すように，屈折率 n_A の透明プラスチックAの上に屈折率 n_B の透明プラスチックBを重ねたものを空気中におき，その中を進む単色光のようすを調べる。ただし，それぞれの屈折率は，$n_A > n_B > 1.0$ を満たすものとし，プラスチックAの端面Cは，プラスチックAとプラスチックBとの接触面Dに対し，垂直であるものとする。



(ｉ)　単色光を端面C上の点Pに入射させると，入射した光の一部は屈折率の異なる媒質の接触面で反射したが，残りの光は媒質中を図に示したように進んだ。このように，光が屈折率の異なる媒質を進むとき，進行方向などは屈折率に応じて変化するが，光の（① (ア)　速度，(イ)　波長，(ウ)　振動数）は，屈折率が変わっても変化しないことは良く知られている。

　さて，単色光がプラスチックAからプラスチックBに入射する点Qでの屈折に注目すると，n_A，n_B と図に示す角 β，γ との関係は $\sin\beta =$（　②　）と書くことができる。次に点Pでの屈折に注目する。空気の屈折率を1.0とすれば，n_A と図に示す角 α，β との関係は $\sin\alpha =$（　③　）と書くことができる。ここで，端面Cと2つのプラスチックの接触面Dが垂直であることを用いている。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

（ⅱ）光の屈折において，媒質の屈折率と入射角がある条件を満たすと，屈折角が90°になることがある。このときの入射角は（　④　）と呼ばれている。そして入射角が（　④　）以上になると，光は図のように進まず，すべて反射する。この現象は全反射と呼ばれている。接触面Dにおいて全反射する条件を求めてみよう。

$\sin\beta$＝(　②　)から，屈折角が90°になる条件を n_A，n_B と図に示す角 β を用いてあらわすと $\sin\beta$＝(　⑤　)となる。そして，$\sin\alpha$＝(　③　)と $\sin\beta$＝(　⑤　)から，接触面Dにおける屈折角が90°になるときの角 α と n_A，n_B の関係は $\sin\alpha$＝(　⑥　)となる。この条件から全反射が生じるときの α の範囲が求められるが，もしも n_A，n_B が（　⑦　）のような不等式を満たすならば，α が $0° < \alpha < 90°$ を満足するどのような角であっても，接触面Dで必ず全反射が生じることがわかる。これらの結果は，光ファイバーを設計するときの基礎になる。また，屈折率などが変化したときのようすを調べるときにも役に立つ。たとえば，プラスチックBの屈折率 n_B を小さくし，1.0に近づけたときには，接触面Dでの全反射は（⑧　(ア)　おこりやすくなる，(イ)　おこりにくくなる）ことが，これまでの結果からわかる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

雨上がりに太陽と反対の方向に見える虹はとても綺麗な現象である。図1に示すように，良い条件の場合には，通常見える虹（主虹）の外側にもう一つ薄い虹（副虹）が見える。虹は，空気中の水滴がプリズムの役目を果たし，白色の太陽光を色（波長）ごとに分けた結果見える現象と考える。水滴は球であるとして，以下の各問に答えなさい。

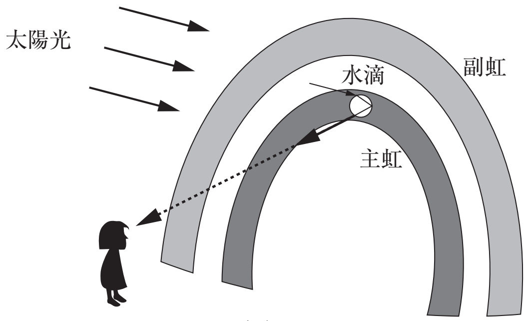


図1

(1)　光は屈折率の異なる境界面に入射すると屈折する。図2に示すように，水滴表面の点Aに入射した光線は屈折し，点Bで反射し，点Cで屈折して大気中に出ていく。点Oは水滴の中心，点Aにおける水滴への入射角を θ_1，屈折角を θ_2，水滴の屈折率を n として，これらの間に成立する関係式を求めなさい。

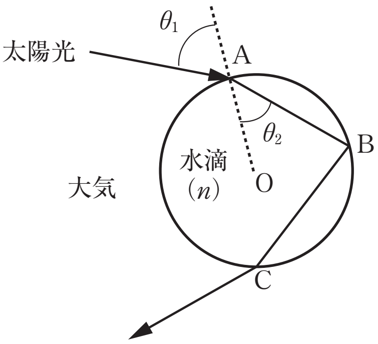


図2

(2)　表は水における光の波長に対する屈折率を示している。空気の屈折率を1とし，水の屈折率は表の値を参考にして，θ_2 が最も大きくなる光線の色を赤，黄，緑，紫の中から一つ選んで答えなさい。

表　水の屈折率

波長(nm)	屈折率	光線の色
656	1.331	赤
589	1.333	黄
546	1.335	緑
405	1.343	紫

(3)　図3に示すように，点Bにおける入射角を θ_3，反射角を θ_4，点Cにおける入射角を θ_5，屈折角を θ_6 とする。θ_3 および θ_4 の間に成立する関係から，θ_5 および θ_6 を，θ_1 および θ_2 を用いて表しなさい。

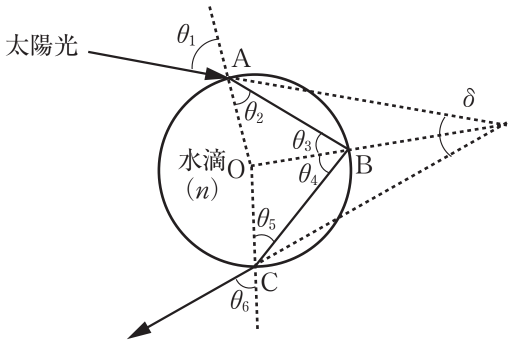


図3

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑷　虹の各色の見える角度は，水滴に入射する太陽光線と水滴から出てくる光線がなす角 δ によって変化する。δ を θ_1 および θ_2 を用いて表しなさい。

⑸　大気中では水滴が無数に存在する。主虹において，地平線から最も上側（外側）に見える色を表から一つ選んで答えなさい。

⑹　図４に示すように，副虹の場合は，点Ｄで屈折し，点Ｅで反射し，さらに点Ｆで反射し，点Ｇで屈折して大気中に出ていくと考える。赤色および緑色の光線の軌跡の関係を表した図として最も適切なものを解答群の中から１つ選びア～オの記号で答えなさい。ただし，解答群の図中，破線は水滴に入った後の赤色の光線の軌跡，点線は緑色の光線の軌跡を表しているとし，実際に水の屈折率を考慮して得られる図よりお互いの関係がわかりやすいように強調して描いている。

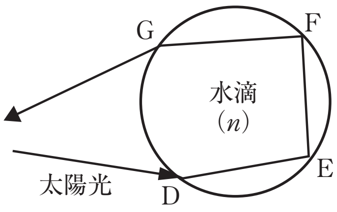
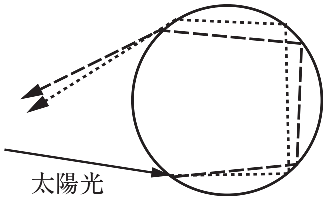
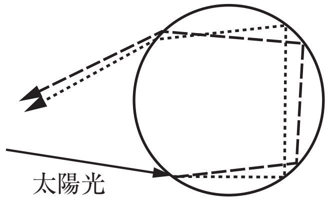


図４

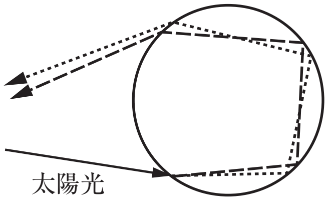
〔解答群〕



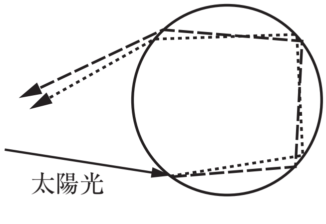
ア.



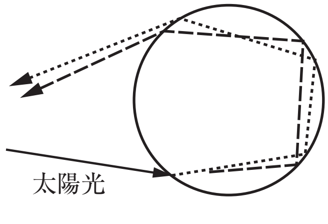
イ.



ウ.



エ.



オ.

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 21 講　確認テスト

問 1

池に潜り，深さ h の位置から水面を見上げ，水の外を見ていた。図 1 のように，光を通さない円板が水面に置かれたので，外が全く見えなくなった。そのとき円板の中心は，潜っている人の目の鉛直上方にあった。このように外が見えなくなる円板の半径の最小値 R を与える式として正しいものを，以下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，空気に対する水の屈折率（相対屈折率）を n とし，水面は波立っていないものとする。また，円板の厚さと目の大きさは無視してよい。

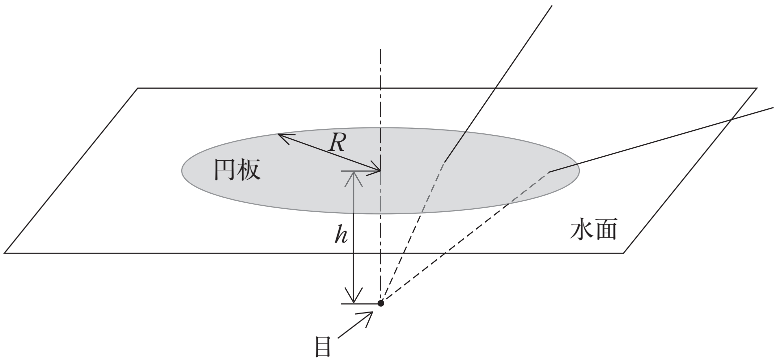


図 1

① $\dfrac{h}{\sqrt{1-\dfrac{1}{n}}}$　② $\dfrac{h}{n-1}$　③ $\dfrac{h}{\sqrt{n-1}}$　④ $\dfrac{h}{\sqrt{1-\dfrac{1}{n^2}}}$

⑤ $\dfrac{h}{n^2-1}$　⑥ $\dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2

図2は，ある光ファイバーの概念図である。屈折率の異なる2種類の透明な媒質からなる二重構造をしており，媒質1でできた中心部分の円柱の屈折率 n_1 は，媒質2でできた周囲の円筒の屈折率 n_2 よりも大きい。このファイバーを空気中におき，円柱の端面の中心Oから単色光の光線を入射角 i で入射させる。端面で光は屈折してファイバー中を進み，媒質1と媒質2の境界面で反射される。この境界面への入射角を r とする。

以下では，図のように円柱の中心軸を含む平面内を進む光についてのみ考える。また空気の屈折率は1とする。

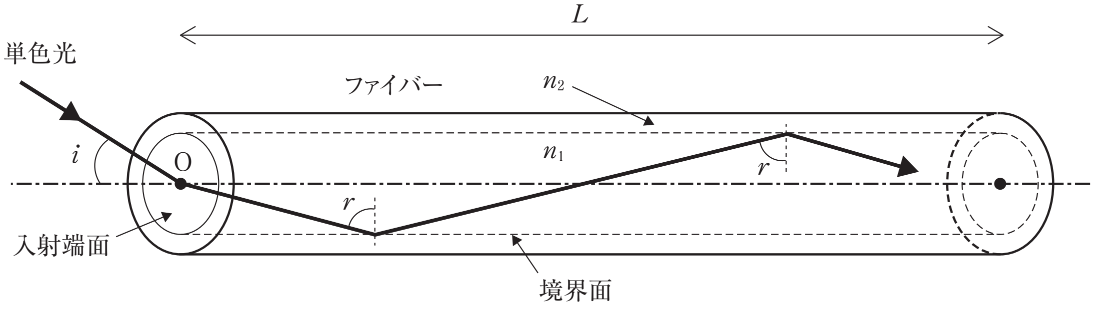


図2

(1)　端面への入射角 i を小さくしていくと，境界面への入射角 r は大きくなる。r がある角度 r_0 より大きくなると，境界面で全反射が起こり，光は媒質1の円柱の中だけを通って，円柱の外に失われることなく反対側の端面にまで到達する。

$r > r_0$ のとき，光が円柱に入射してから，反対側の端面に到達するまでにかかる時間はいくらか。空気中での光速を c，ファイバーの長さを L として正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。

① $\dfrac{L}{c}$　② $\dfrac{L}{c\sin r}$　③ $\dfrac{L}{c\cos r}$　④ $\dfrac{n_1L}{c}$

⑤ $\dfrac{n_1L}{c\sin r}$　⑥ $\dfrac{n_1L}{c\cos r}$　⑦ $\dfrac{n_1L}{n_2c}$　⑧ $\dfrac{n_1L}{n_2c\sin r}$

⑨ $\dfrac{n_1L}{n_2c\cos r}$

(2)　媒質1と媒質2の境界面で全反射が起こる場合の，端面への入射角 i の最大値を i_0 とするとき，$\sin i_0$ を n_1，n_2 で表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

① n_1-n_2　② $n_1^2-n_2^2$　③ $\sqrt{n_1-n_2}$　④ $\sqrt{n_1^2-n_2^2}$

⑤ $\dfrac{1}{n_2}-\dfrac{1}{n_1}$　⑥ $\dfrac{1}{n_2^2}-\dfrac{1}{n_1^2}$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 21 講　解答

1

（1）　$\sin\theta_2 = n\sin\theta_1$

（2）　$\dfrac{h}{n}$

（3）　ア：臨界角　イ：全反射　ウ：$\dfrac{1}{n}$　エ：$\sqrt{r^2+h^2}$　オ：$\dfrac{h}{\sqrt{n^2-1}}$

2

①　(ウ)　②　$\dfrac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{A}}}\sin\gamma$　③　$n_{\mathrm{A}}\cos\beta$　④　臨界角

⑤　$\dfrac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{A}}}$　⑥　$\sqrt{{n_{\mathrm{A}}}^2-{n_{\mathrm{B}}}^2}$　⑦　$\sqrt{{n_{\mathrm{A}}}^2-{n_{\mathrm{B}}}^2} \geqq 1$　⑧　(ア)

3

（1）　$n\sin\theta_2 = \sin\theta_1$

（2）　赤

（3）　$\theta_5 = \theta_2$，　$\theta_6 = \theta_1$

（4）　$4\theta_2 - 2\theta_1$

（5）　赤

（6）　エ

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第21講　確認テスト

【解答】

問1

⑥

問2

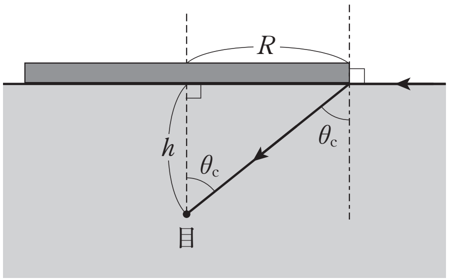
(1) ⑤　　(2) ④

【解説】

問1

光線が円板の端にきたときに，臨界角となればよい。

$$\begin{cases} \text{屈折の法則}：1\cdot\sin 90^\circ = n\sin\theta_C \\ \text{図より}\quad：\sin\theta_C = \dfrac{R}{\sqrt{R^2+h^2}} \end{cases}$$



2式より，

$$n = \frac{\sqrt{R^2+h^2}}{R} \qquad \therefore\ R = \boldsymbol{\frac{h}{\sqrt{n^2-1}}}$$

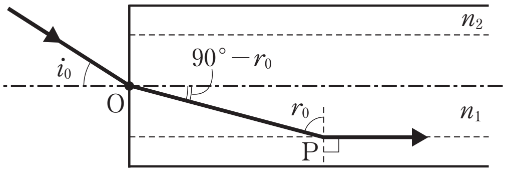
問2

(1) 屈折率 n_1 の媒質内では，光の速さは $\dfrac{c}{n_1}$ となり，ファイバーの長さ方向成分は $\dfrac{c}{n_1}\sin r$ となるので，かかる時間は

$$t = \frac{L}{\dfrac{c}{n_1}\sin r} = \boldsymbol{\frac{n_1 L}{c\sin r}}$$

(2) 2つの媒質の境界への入射角が臨界角となるときについて，屈折の法則より，

$$\begin{cases} \text{点O}：\sin i_0 = n_1\sin(90^\circ - r_0) = n_1\cos r_0 \\ \text{点P}：\sin r_0 = \dfrac{n_2}{n_1} \end{cases}$$



この2式と，$\cos^2 r_0 + \sin^2 r_0 = 1$ より，

$$\sin i_0 = \boldsymbol{\sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2}}$$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。